

会議のトピックス(V)

第 24 回 OECD/NEA 原子力科学委員会
核データ評価国際協力ワーキングパーティ (WPEC)
会合報告

2012 年 5 月 24～25 日、NEA 本部、Paris、France

日本原子力研究開発機構

原子力基礎工学研究部門

核工学・炉工学ユニット 深堀 智生

fukahori.tokio@jaea.go.jp

原子力基礎工学研究部門

応用核物理研究 Gr 原田 秀郎

harada.hideo@jaea.go.jp

原子力基礎工学研究部門 石川 眞

ishikawa.makoto@jaea.go.jp

1. はじめに

OECD/NEA 原子力科学委員会 (NSC) の核データ評価国際協力ワーキングパーティ (WPEC) [1-5] の第 24 回会合が、2012 年 5 月にフランスの NEA 本部で 2 日間開催されました。本会合は一年に 1 回開かれ、各国の核データ実験研究及び核データ評価の現状を報告し合って確認及び議論するとともに、WPEC の下に設置されているいくつかのサブグループ (SG) の進捗を評価して、今後の活動方針を決定するものです。この WPEC 会合には、評価済み核データ開発のプロジェクト



写真 1 NEA 会議室からの風景
(セーヌ川の奥に小さくエッフェル塔が見えます)

クトを持つ米国 (ENDF)、欧州 (JEFF)、日本 (JENDL) (以上正式メンバー)、ロシア (BROND、2013 年 1 月から NEA の正式加盟国 (31 番目) となることがこの会合の直後に報道されました)、中国 (CENDL) の 5 区域と、IAEA 及び韓国 KAERI (オブザーバ) が参加しています。SG の活動経過を報告するために参加したコーディネータを含む総出席者数は、米国 10 名 (LANL の Chadwick 氏はネット電話参加)、欧州 7 名、日本 3 名、ロシア 1 名、中国 3 名、韓国 1 名、IAEA 1 名、NEA 事務局 1 名の計 27 名でした。議長は 3 大ライブラリ代表から選出することになっており、今回は欧州 JEFF の Jacqmin 氏が務めました。なお、以下で報告する内容の発表 OHP は全て、以下の URL で見ることができますのでぜひご覧下さい。

<http://www.oecd-nea.org/science/wpec/meeting2012/>

2. 核データ測定活動の現状

世界の核データ測定の活動状況が、以下の 6 件に分かれて報告されました。それぞれに膨大な情報が含まれるのですが、各報告の説明時間は 20 分と制限があるため、各発表者は短い時間に納めるのに苦労しているようでした。項目を挙げるだけでも相当なページ数になってしまいますので、独断と偏見で選んだトピックスだけを紹介いたします。

1) 欧州 (報告者: A. Plompen)

CERN の n_{TOF} プロジェクトでは、中性子飛行距離が 20 m と短い第 2 ビームライン計画が進捗中で、**図 1** の完成予想鳥瞰図が示されました。現在の測定は 2012 年末まで継続後、2014 年に再スタートする予定とのことです。U, Pu 及び MA を中心に、中性子捕獲断面積と核分裂断面積の測定研究が進行中です。

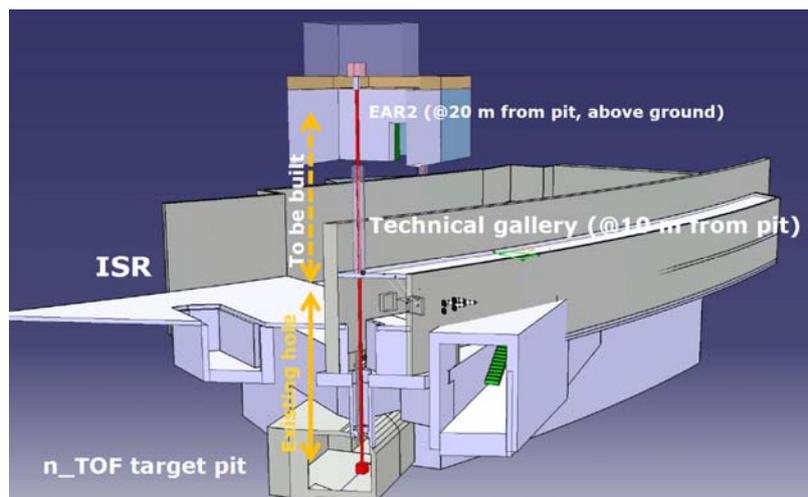


図 1 CERN の n_{TOF} プロジェクトで計画中の第 2 ビームラインの鳥瞰図
(サンプル位置での中性子強度の大幅な増強が期待されます)

図2は、フランス/グルノーブルにあるラウエ・ランジュバン研究所（ILL）の高い熱中性子束を有する原子炉中に核分裂性のサンプルを挿入し、核分裂生成物を原子炉外に引き出すことにより、核分裂収率や遅発中性子割合を測定する装置の鳥瞰図であり、U-233を用いた予備的な核分裂収率の測定結果が紹介されました。

IRMM 研究所の電子線形加速器 GELINA を用いた中性子断面積研究では、Ge 検出器を用いるとともに、その検出効率を注意深く決定することにより Na-23 の非弾性散乱断面積を 2.5 % の精度で決定したという研究成果や Am-241 の中性子捕獲断面積測定データの詳細な共鳴解析の進捗など活発な活動が報告されました。この他、核分裂時に発生する即発ガンマ線分布の測定技術開発が Laborie 氏らにより進行していました。

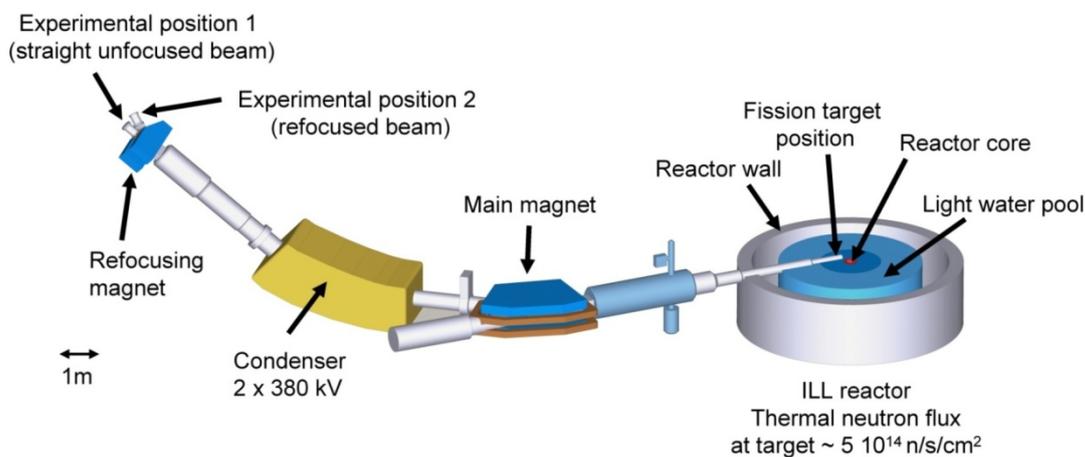


図2 ラウエ・ランジュバン研究所（ILL）の高中性子束の原子炉中性子を適用した核分裂収率や遅発中性子割合を測定する装置の鳥瞰図

2) 韓国（報告者：Young-Sik Cho）

韓国からは3つの新しい核データ測定用施設の次期計画が注目を集めました。表1は、次期計画の加速器仕様を取り纏めた表です。

表1 韓国で計画中の核データ測定用施設の一覧表

Facility	Characteristics	Status
Electron linear accelerator (KAERI)	<ul style="list-style-type: none"> • 17 MeV SC linac • Neutron production 	<ul style="list-style-type: none"> • Accelerator is available • Conceptual design of TOF facility is completed
Proton linear accelerator (PEFP)	<ul style="list-style-type: none"> • 100 MeV linac 	<ul style="list-style-type: none"> • Accelerator will be available in 2013 • Planning for data measurements
Heavy-ion accelerator (IBS)	<ul style="list-style-type: none"> • Cyclotron (70 MeV proton) • SC Linac (H – U, 200 MeV/u(U)) 	<ul style="list-style-type: none"> • Accelerator will be available in 2017 • Planning for data measurements

3) 日本（報告者：H. Harada）

日本の核データ測定状況を、北（東北大学）から南（九州大学）の順番で、10件の報告を行いました（図3）。内容は、中性子微分断面積、光核断面積、中エネルギーDDX、DT中性子反応、厚いターゲットからの中性子発生等多岐に渡りました。我が国の活動は、核データ研究会[6]等でも周知されていますので、詳細は割愛させていただきます。

J-PARCの中性子核反応測定装置 ANNRI を用いて取得した Cm-244 の中性子捕獲断面積測定の結果（図4）、放射性サンプルの入手方法、光核反応の標準断面積として重要な Au

の光核反応断面積測定について関心が寄せられました。放射性サンプルの入手方法については、コーヒブレイク中に CEA の研究者から質問があったのですが、CEA であっても放射性サンプルの入手は、難しい状況のようです。

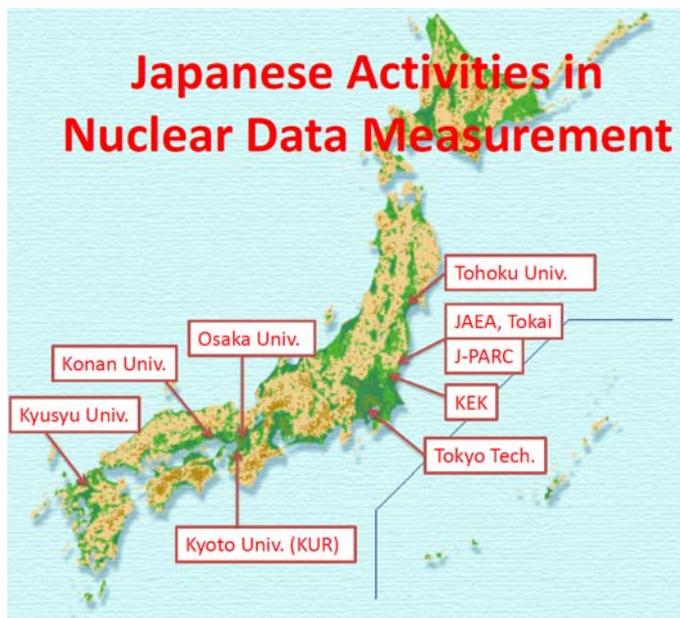


図3 我が国の核データ測定研究拠点

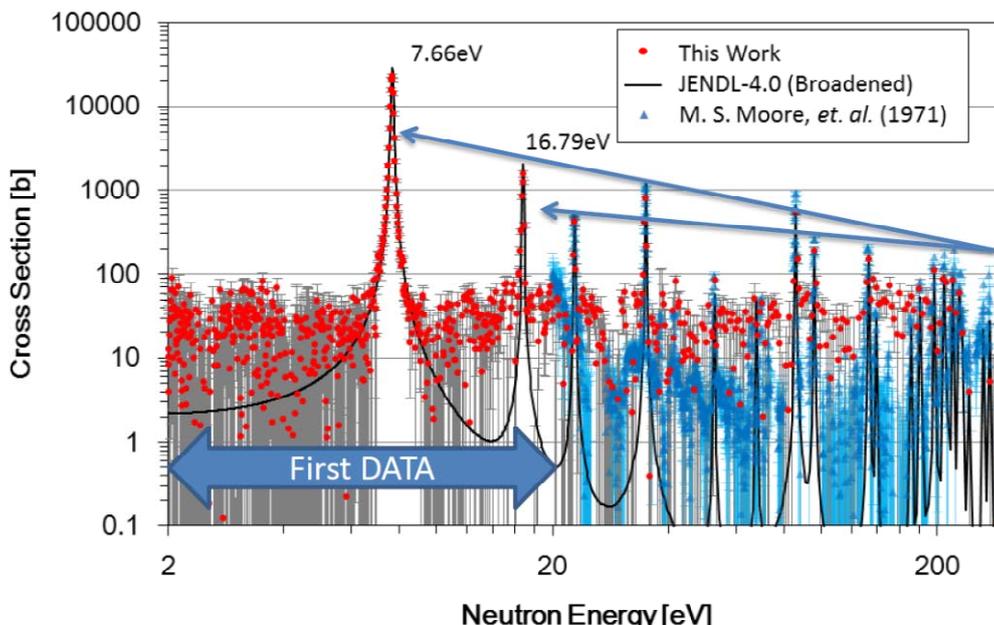
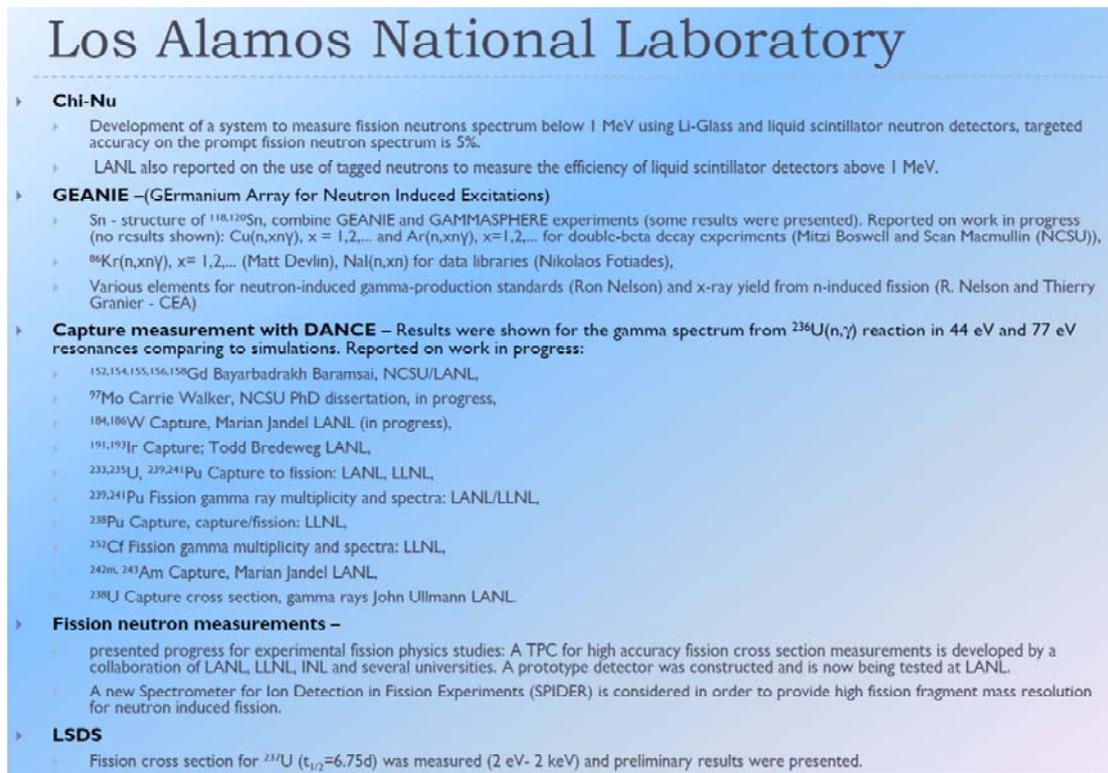


図4 J-PARC の中性子核反応測定装置 ANNRI を用いて測定された Cm-244 の中性子捕獲断面積（赤い測定値です）

4) 米国（報告者：Y. Danon）

米国の核データ測定活動は、RPIのYaron Danon氏が7機関(LANL, LLNL, ORNL, RPI, ANL, LBL, NIST)の活動を、126ページの資料を用いて報告しました。RPIは、この中で唯一の大学であり中立な立場で報告できるので、自分が選ばれたのであろうとの本人談話。日本とは核データ測定に取り組む大学と機関の数が大きく逆転していることを改めて認識しました。

LANL(LLNLとの共同研究多)のアクティビティーは、**図5**に示すように活発です。Am-242mサンプルの他、多くのPu同位体サンプルを有していることは注目に値します。



Los Alamos National Laboratory

- ▶ **Chi-Nu**
 - ▶ Development of a system to measure fission neutrons spectrum below 1 MeV using Li-Glass and liquid scintillator neutron detectors, targeted accuracy on the prompt fission neutron spectrum is 5%.
 - ▶ LANL also reported on the use of tagged neutrons to measure the efficiency of liquid scintillator detectors above 1 MeV.
- ▶ **GEANIE** –(Germanium Array for Neutron Induced Excitations)
 - ▶ Sn - structure of $^{118,120}\text{Sn}$, combine GEANIE and GAMMASPHERE experiments (some results were presented). Reported on work in progress (no results shown): $\text{Cu}(n,x\text{n})$, $x = 1,2,\dots$ and $\text{Ar}(n,x\text{n})$, $x=1,2,\dots$ for double-beta decay experiments (Mitzi Boswell and Scan Macmullin (NCSU)),
 - ▶ $^{86}\text{Kr}(n,x\text{n})$, $x = 1,2,\dots$ (Matt Devlin), $\text{Na}(n,x\text{n})$ for data libraries (Nikolaos Fotiades),
 - ▶ Various elements for neutron-induced gamma-production standards (Ron Nelson) and x-ray yield from n-induced fission (R. Nelson and Thierry Granier - CEA)
- ▶ **Capture measurement with DANCE** – Results were shown for the gamma spectrum from $^{236}\text{U}(n,\gamma)$ reaction in 44 eV and 77 eV resonances comparing to simulations. Reported on work in progress:
 - ▶ $^{152,154,155,156,158}\text{Gd}$ Bayarbadrakh Baramsai, NCSU/LANL,
 - ▶ ^{97}Mo Carrie Walker, NCSU PhD dissertation, in progress,
 - ▶ $^{184,186}\text{W}$ Capture, Marian Jandel LANL (in progress),
 - ▶ $^{191,193}\text{Ir}$ Capture; Todd Bredeweg LANL,
 - ▶ $^{232,235}\text{U}$, $^{239,241}\text{Pu}$ Capture to fission: LANL, LLNL,
 - ▶ $^{239,241}\text{Pu}$ Fission gamma ray multiplicity and spectra: LANL/LLNL,
 - ▶ ^{238}Pu Capture, capture/fission: LLNL,
 - ▶ ^{252}Cf Fission gamma multiplicity and spectra: LLNL,
 - ▶ $^{242\text{m}}, ^{243}\text{Am}$ Capture, Marian Jandel LANL,
 - ▶ ^{238}U Capture cross section, gamma rays John Ullmann LANL.
- ▶ **Fission neutron measurements** –
 - ▶ presented progress for experimental fission physics studies: A TPC for high accuracy fission cross section measurements is developed by a collaboration of LANL, LLNL, INL and several universities. A prototype detector was constructed and is now being tested at LANL.
 - ▶ A new Spectrometer for Ion Detection in Fission Experiments (SPIDER) is considered in order to provide high fission fragment mass resolution for neutron induced fission.
- ▶ **LSDS**
 - ▶ Fission cross section for ^{237}U ($t_{1/2}=6.75\text{d}$) was measured (2 eV- 2 keV) and preliminary results were presented.

図5 LANLで実施された核データ測定状況の一覧表です。非常に精力的な測定活動であるとともに、多くの高濃縮核燃料サンプルを用いているところが大きな特徴です。

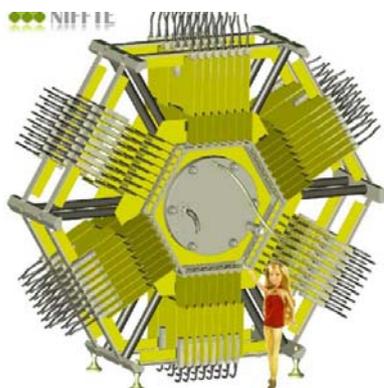


図6 核分裂断面積の超精密測定を目指した核分裂タイムプロジェクションチェンバーの完成予想図

核分裂断面積の超精密測定を目指した核分裂タイムプロジェクトの完成予想図)のプロトタイプ装置のテスト結果が報告されました。今後に進展が注目される技術です。

PRI の研究では、U-236 の 5.45 eV 共鳴の断面積 (図 7) が米国の評価済ライブラリ ENDF/B-VII.0 より約 30 %小さいことが指摘されました。米国では特に核燃料物質の精力的な研究が注目されます。

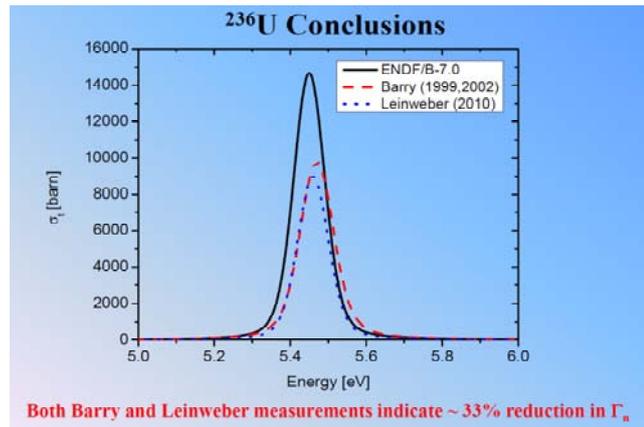


図 7 U-236 の 5.45 eV 共鳴の断面積。黒い実線は、米国の評価済ライブラリ ENDF/B-VII.0 の値。赤と青の点線が、最近の 2 つの測定値。両測定値は、評価値に比べ、約 30%小さいことが指摘されました。

5) 中国 (報告者: Zhigang Ge)

中国からは 14 MeV 中性子による断面積研究として Ga-69, Nb-93, U-238 の測定、また、U-235 及び Pu-239 の核分裂収率の測定等が報告されました。

6) ロシア (報告者: A. Ignatyuk)

ロシアからは、IPPE から Troitsk の INR にある LSDS を用いた新しい MA の核分裂断面積測定の結果が示されました。図 8 の赤いデータが、LSDS による Cm-246 の核分裂断面積測定の結果を示されています。

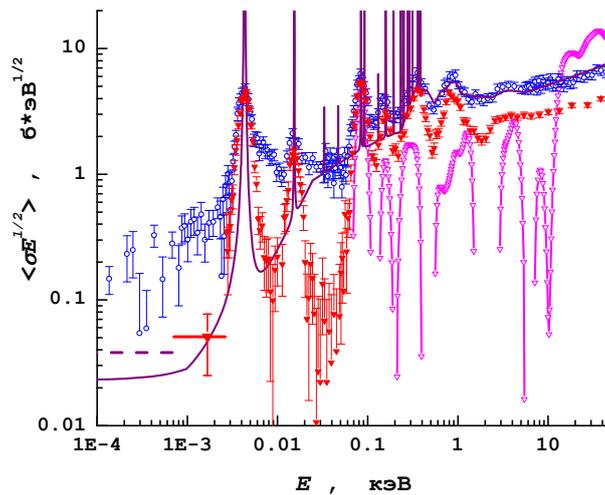


図 8 IPPE による LSDS を用いた新しい MA の核分裂断面積測定の結果 (赤色のデータで示されています。Cm-246 の核分裂断面積に関し、従来の測定値の問題点が指摘されました)

面積の測定値（中性子エネルギーの平方根を乗じている）、ピンクのデータが過去の地下核実験の値、青が過去の LSDS による測定値です。古い測定結果と大きく異なる結果を示すとともに、過去の測定の問題点が指摘されました。

3. 核データ評価活動の現状

1) ENDF（報告者：M. Herman）

昨年末に公開された ENDF/B-VII.1 について報告されました。ENDF/B-VII.0 から改訂されたのは、中性子サブライブラリはもちろんですが、熱中性子散乱則データ、中性子入射核分裂収率データ、崩壊データの各サブライブラリを合わせた 4 つのサブライブラリだけで、荷電粒子や光子入射のそれは変更されていません（詳しくは 2 編の大論文[7, 8]をご参照いただくとして、ここでは中性子サブライブラリに関する概要のみを記載します）。

臨界性に関するベンチマークテストは ENDF/B-VII.0 より良い結果を示しており、共分散データ[9-11]も充実しています。アクチノイドに関しては、U-235, 238 及び Pu-239 をやや修正し、U-236, 237, 239, Np-237, Pu-238, 240, 241, Am-241, 243 には新評価を与えています。残りの MA に関しては、ほぼ全面的に JENDL-4.0 を共分散とともに採用しています。中性子入射核分裂収率データに関しては、Pu-239 を例にとると、従来の熱中性子、高速中性子（0.5 MeV）、DT 核融合中性子（14 MeV）のエネルギーで与えられていたものに 2.0 MeV のものを追加しています。これにより、高速領域でのエネルギー依存性を改善しているようです[12,13]。軽核に関して R 行列を用いた再評価を行い、He-3, Li-6, Be-9, C-nat, O-16 に関しては大きな変更がなされています。特に Be-9 を含むベンチマーク結果には大きな影響を与えているようです。その他、Ti, Zr, W, Pb に関する評価について報告がありました。

長期的な検討課題として、荷電粒子ファイルについての穴を埋めていくこと、輸送計算における C の天然元素としての取扱いの改善、新しいフォーマットの検討、国際ファイル等について言及されました。最後の 2 点に関しては、後程、別途議論がありましたので、そちらでご報告したいと思います。

2) JEFF（報告者：R. Jacqmin）

主に、JEFF の目的、組織、EFF/EAF からの貢献、TENDL、JEFF-3.1、JEFF-3.1.1、JEFF-3.1.2 への変化の経緯と JEFF-3.2 の予定について報告されました。ここでは、最近公開された JEFF-3.1.2 と JEFF-3.2 の予定につて簡単に触れておきます。

JEFF-3.1.2 は 2012 年 2 月に公開されました。JEFF-3.1.1 と同じく 381 核種を格納していますが、Hf 同位体の改訂、89 の FP 核種（47 核種は ENDF/B-VII.0 から採用）についての γ 線データの追加、Co-58 等の少しの改訂を含む JEFF-3.1.1 のマイナー改訂版といった

ものようです。もちろん、ENDF の様なベンチマークテストは行っているようですが、取り立てて報告はありませんでした。

JEFF-3.2 は 2013 年公開予定で整備が進んでいるそうです。ここでは、軽水炉に対する JEFF-3.1.2 のパフォーマンスを継承するとともに、MOX 燃料システムや高速炉の予測精度向上を狙っているようです。γ線や共分散データの充実、Am, Na 等の高品質測定の取り込み、モデル及びコード開発（CONRAD, TALYS, GEF, 共分散生産等）、内部整合性の向上も考慮するようです。

3) JENDL（報告者：T. Fukahori）

JENDL に関しては、JENDL-4.0 によるベンチマーク解析結果、JENDL-4.0 以降の品質保証のための改訂、共分散の利用に関するユーザとの議論、もうすぐ数値データを公開する予定の FP 崩壊データファイル（JENDL/FPD-2011）等について主に報告しましたが、既に学会等でご報告していますので、ここでは、上記の ENDF や JEFF との比較をしておくことにします。

表 2 に ENDF 及び JEFF の最近の 2 バージョンと JENDL-4.0 を比較したものを示します。当然のことながら、新しくなればなる程、格納核種数は増えていきますし、その他のデータは充実していきます。また、ベンチマークテストの結果を見ればわかる通り、そのパフォーマンスは徐々にレベルを極めてきつつあります。ただ大きく違うのは、最後の行に書きました「外部依存度」です。この指標は、筆者の一人である深堀が勝手に定義したもので、異存のある方もおられると思いますが、一つの指標として今後重要な意味を帯びてくると考えているものです。JEFF は元々統合ファイルですので、これが大きいのは当然といえば当然なのですが、ENDF も徐々に外部依存度が増していることが分か

表 2 3 大ライブラリ間の比較（中性子サブライブラリ）

ライブラリ名	ENDF/B-VII.1/0	JEFF-3.1.2/1	JENDL-4.0
公開年	2011/2006	2012/2009	2010
格納核種数	423/393	381/381	406
γ線データを格納した核種数	286/206	216/136	354
DDX を格納した核種数	255/171	161/83	319
共分散を格納した核種数	190/26	36/36	95
外部依存度	49%/40%	88%/80%	4%

ります。JENDL は、いいか悪いかは別として、長く純血主義を貫いてきましたが、JENDL-4.0（本当は JENDL-3 のころからそうなのですが）では、主要アクチノイドの共鳴パラメータや標準反応である Au-197 の中性子捕獲断面積だとか、H-1 の弾性散乱断面積等は ENDF のものを採用しています。それが 4%です。ここでは、この比較のみにしておきます。

4) TENDL（報告者：D. Rochman）

TENDL はご存知のように TALYS ベースの膨大な計算を毎年入力、パラメータを少しずつ改訂しながら、作成されています。TENDL-2011 では、中性子ファイルには 2425 核種に対する評価済み（計算済み？）データが格納されています。計算結果は、いいものもあれば、そうでないものもあるといったものです。併せて、“Total Monte Carlo”（少し違うかもしれませんが深堀の理解では、TALYS で核データ計算を行い ENDF 形式で出力 → 処理コードで ACE ファイルを作成 → MCNP でベンチマーク → TALYS のモデルパラメータを乱数で少し変えて最初に戻る）という手法でベンチマークテストや共分散データを導出しています。重要な核種については、既存のライブラリから採用することもあるようですが、最終的にはそれらも再現できるパラメータを探して、計算だけでライブラリを構築する「再現性」を目指しています。また、同時に「整合性」、「完備性」、「信頼性」を合わせもつように、当面、来年の核データ国際会議（ND2013）でのあるレベルへの到達を目標に改造を進めているようです。

5) BROND（報告者：A. Ignatyuk）

毎年報告されるのですが、その実態があまりつかめない BROND ともう一つのロシアのファイル ROSFOND（「ロシア語的には RUSFOND と発音するのが近いらしい」と発表者が言っていました、我々には“*loose fund*”に聞こえて仕方がありませんでした。冗談はさておき）についての報告がされました。BROND-3 とその放射化断面積ファイル BROND-3A 及び ROSFOND-2012 について説明がありました。また、主要な原子炉構成材についての誤差評価、Pb 同位体、Bi-209、MA 核種の評価改訂、即発中性子スペクトルの新評価、FENDL-3A と BROND-3A の関連について、発表がありました。

6) CENDL（報告者：Zhigang GE）

中国で開発されている CENDL-3.1 と次期 CENDL について報告がありました。CENDL-3.1 は 2009 年に公開されたもので、あちらこちらに報告がありますので、ここでは省略させていただきます。

次期 CENDL（CENDL-3.2 なのか CENDL-4 なのか言及はありませんでしたが）については、CENDL-3.1（240 核種）のリソースを踏襲し、利用者の要求に従って 300 核種程度

まで核種数を増やす予定の様です。開発中の COVAC システムを活用して 30 核種以上に共分散データを追加し、核分裂収率データ、放射化断面積データ、荷電粒子入射反応データ、崩壊データ等を追加することを計画しています。

4. 活動を終了した、または終了直前のサブグループ報告

1) SG27：核分裂生成物からの即発 γ 線生成（コーディネータ：R. Jacqmin）

評価済核データの即発 γ 線生成のデータに欠損があり原子炉の発熱計算が過小評価になるため、約 90 個の FP 核種から重要な FP 核種の選定や γ 線データについて検討することを目的として活動しました。これまでに、Top 26 の FP 核種（LWR 発熱の 90 を網羅）の同定とその γ 線データの評価を終えており、今後検証作業を行って最終報告書をまとめるとのことですが、2011 年 5 月の WPEC 年会からの進捗はほとんどなかったようです。

2) SG28：共分散データの処理（コーディネータ：M. Dunn）

2006 年当時、まだ NJOY コードには Reich-Moore 形式の共鳴パラメータ共分散を処理する機能がなかったため、この解決を主な目的として発足した SG です。しかし、その後千葉豪さんらが開発した ERRORJ コードが NJOY にモジュールとして組み込まれ、また、同等の機能を ORNL の PUFF システムも備えて双方の比較検証作業も完了していますので、この SG の目的はすでに達成しているのですが、最終報告書がまだできておらず Dunn 氏が謝っていました。

3) SG29：keV から MeV 領域における U-235 の捕獲断面積（同：O. Iwamoto）

日本から提案した SG であり、U-235 捕獲断面積の改良を目的として、2007 年 4 月から活動を開始し昨年活動を終わりました。我が国の JENDL-4.0 では、この SG の検討結果を受けて、分離共鳴パラメータの上限エネルギーを JENDL-3.3 の 2.25 keV から 500 eV に下げて、その上のエネルギー領域では独自の評価を採用したことから、ウラン高速炉の積分実験解析の結果は非常に良好になっています。また、最近の LANL などでの U-235 断面積の測定結果も、SG29 の結論を支持しているとのことでした。本 SG の最終報告書(図 9)は、コーディネータである岩本修さんらの非常な努力により 2011 年末に NEA から発行されており、以下の URL からダウンロードできます（日本が中心となった国

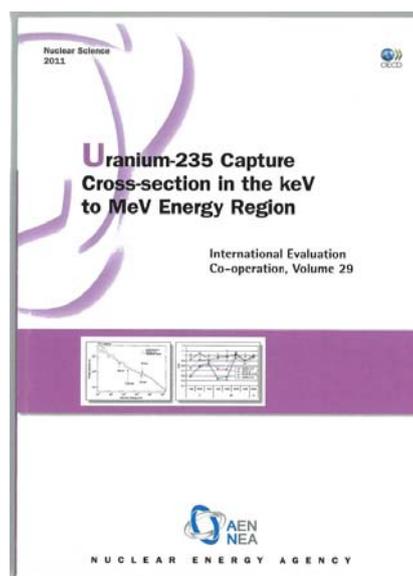


図 9 SG29 の報告書（OECD/NEA から 2011 年 11 月に発行）

際協力活動が、このように期限を守ってメリハリのついた成果を出しているのは、各国の委員から非常に好感を持って迎えられていました)。

<http://www.oecd-nea.org/science/wpec/volume29/volume29.pdf>

4) SG31：革新炉のための核データニーズに応える（同：H. Harada）

本 SG は、Salvatores 氏がリードした SG26「革新炉のための核データニーズ」の報告書に与えられた重要核データの誤差を、核データ測定の特 門家の視点で見直し再評価するとともに、最新の測定技術により要求精度にどこまで答えられるかを見通すために開始されました。

CEA の Frank Gunging 氏が測定データの現状を一目で分かる便利な図（図 10 に一例を示します）を本 SG のために作成してくれました。今後、誤差の大きさに応じてカラーとなる予定です。

コーディネータである原田からは、Accuracy（真値からのずれが小さいこと）を確保するには Precise（測定者が認識した測定誤差が小さいこと）な測定が必要であること、測定データ間のギャップが生じる物理的原因を突き止めることが重要であることという従来の指摘に加え、独立した検証実験の必要性を主張しました。

図 11 は、最新の n_TOF の成果も入った CIEMAT の D. Cano Ott 氏による Am-243 中性子捕獲断面積の検討結果です。数は限られますが、非常に詳細なレビューが行われました。

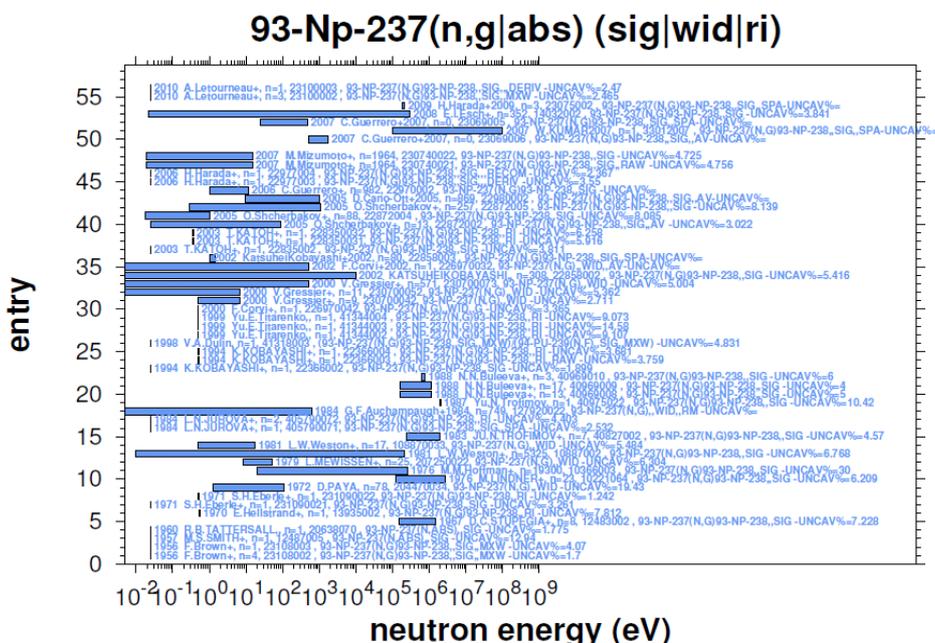


図 10 SG-31 用に整備される核データ測定状況が一目でわかる表（SG-26 で取り上げられた全ての重要核種について今後整備され、SG-31 の報告書別添 CD 等で参照可能となる予定です）

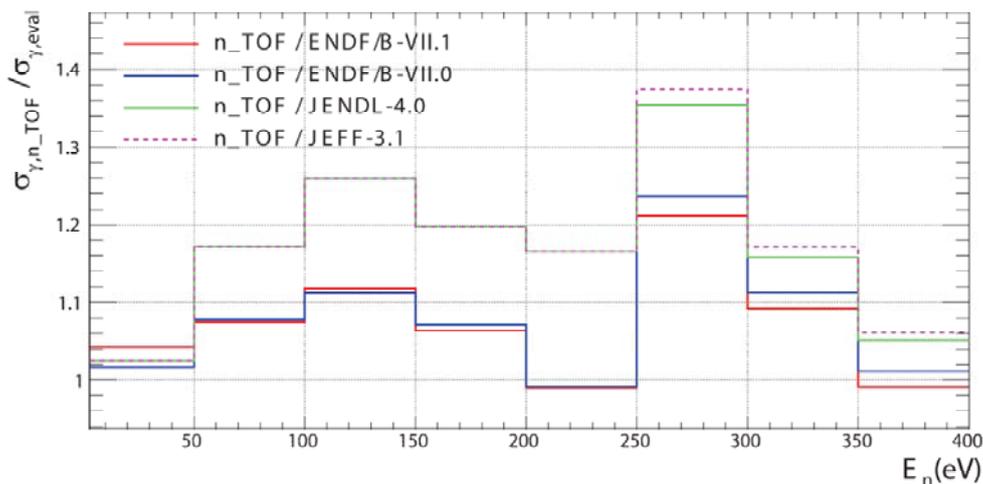


図 11 Am-243 中性子捕獲断面積に関する最新の n_TOF の成果と各種核データ評価値との比較評価

また、JENDL-4.0, JEFF-3.1.2, ENDF/B-VII.1 及び BROND-3 から主要核種に対する誤差データの提供を受け、それらの比較検討も主要核種に対し行いました。2012 年中に、報告書を取り纏める予定であり、詳細は次号以降の核データニュースに紹介させていただきたいと考えています。

5. 活動中のサブグループ報告

1) SG C : 高優先度要求リスト (コーディネータ : A. Plompen)

2007 年に高優先度要求の入力に工学的インパクトを要求するようになってから、何となく鳴かず飛ばずになっているので、ちょっとさびしい報告でした。プレゼンのスライドは実質 1 枚で、最近の 1 年間はエントリーがなく、改革を検討する時期であろうとの報告でした。今後、SG31 等と協力して、アンケート等実施していきたいと結ばれました。

このままでは測定活動にいい刺激を与え続けることができないと危惧されます。わが国でも、JENDL 委員会に「核データ測定戦略検討 WG」が組織され、検討が始まっていますが、測定グループの組織化、動機づけ、既存施設の有効利用等を議論する時期であると思われます。

2) SG33 : 炉物理積分実験データと核データ共分散の統合活用の方法と課題 (同 : M. Salvatores & G. Palmiotti)

本 SG は、Salvatores 氏がリードした SG26「革新炉のための核データニーズ」による「現在の評価済み核データ (微分データ) の精度のみでは、GEN-IV や GNEP の高速炉炉心核設計の目標精度を達成するのは不可能であり、臨界実験解析などの積分データ情報を何

らかの形で取り入れて予測精度を向上する必要がある」という重要な提言を受けて、積分データ情報を核設計に取り入れる方法として、現時点で最も有力とされている「炉定数調整法」を研究対象として活動を行っているものです。参加機関は年々増えており、現在は、8ヶ国・12機関になっています。これまでに、各国の炉定数調整手法の調査と問題点の整理を完了（以下の URL から報告書を入手できます。）して、現在、標準積分ベンチマークセット（計20個）を対象とした各機関による炉定数調整計算と設計対象炉心の設計精度評価の最終段階です。ここでは、異なる共分散データを使った場合の影響や、計算/実験（C/E）値が極端に悪い実験データを炉定数調整に入れた場合（ストレステストと呼んでいます。図12が、JAEAによる結果）の検討なども行って、炉定数調整手法の頑健性（Robustness）を確認しようとしています。2012年の11月に最終会合を行って報告書を発行し、活動を完了する予定です。

<http://www.oecd-nea.org/science/docs/2010/nsc-wpec-doc2010-429.pdf>

4) SG34：共鳴領域の Pu-239 の評価（同：C.de Saint Jean）

本SGではPu-SOL-THERMAL及びPu-INTER集合体の共通した食い違いを解消する目的で、新しい実験データを基にしたORNLの共分散付きの新しいPu-239共鳴ファイルを

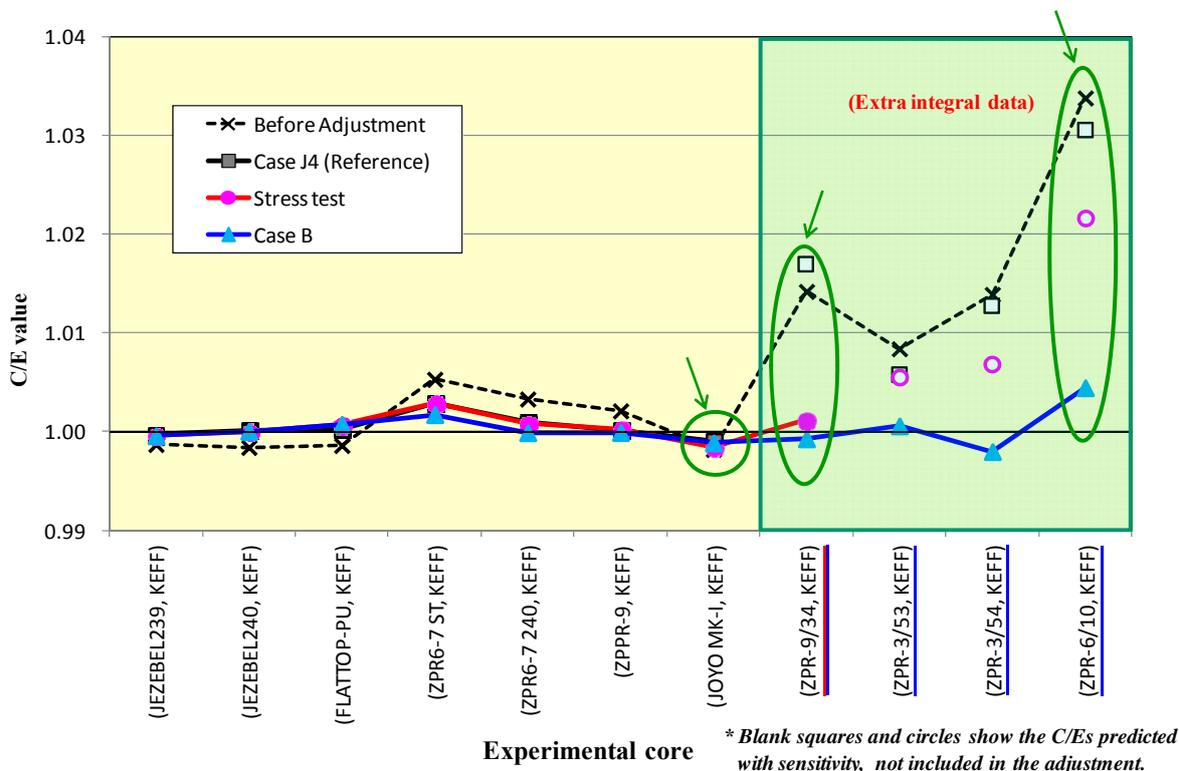


図12 JAEAによるSG33ストレステストの結果（臨界性のみを表示。SG33標準の実験データセットに対して、極端にC/E値の悪いその他の実験データを加えていった時の、炉定数調整結果への影響を評価しています）

基に、最終的には Pu-239 の共鳴評価を改訂しようとしています。SAMMY の共鳴解析と CONRAD による共分散解析を基にベンチマーク解析で検証します。

第一共鳴については、Bollinger (ANL) の全断面積、Wagemans (GEEL) の核分裂断面積、Gwin (ORNL) の捕獲断面積に fit して評価しています。結果的には I_f が若干 (2%位) 大きい以外はほぼ ENDF/B-VII.1 や JEFF-3.1.1 と同様の値になっています。これを基に CEA で行われた BASALA、MISTRAL、FUBILA 等のベンチマークの結果は、ほぼ ENDF/B-VII.1 と JEFF-3.1.1 によるものの間の値になっています。この他、二段階 (光子放出後) の核分裂(n, γ f)過程の考慮及び即発中性子スペクトル (PNFS) の検討も行われています。PNFS の評価の内、Maslov 及び Kornilov によるものだけベンチマーク結果が他と非常に大きく異なるものとなっています。

今後、共分散データ及び非分離共鳴データを最終版とし、PNFS の変化のインパクトを検証する予定です。これらを基にベンチマークを行い、既存の評価済み核データファイルに反映させる予定です。

5) SG35 : 高エネルギー領域の散乱角度分布 (同 : T. Kawano)

本 SG の活動内容は、①散乱角度分布データ (対象は Na、Fe、U) の評価手法を改善すること、②散乱データが重要な積分実験データを同定し評価すること、③より良い評価結果を提供することにより、実験者が新しい散乱データ測定実験を企画できるようにすることです。これまでの検討で、評価手法の改良などがかなり進んできたとのことですが、この SG35 の技術的な解説 (図 13 を参照ください) は、次号の核データニュースでコーディネータの河野俊彦氏に行っていただく予定です。ご期待下さい。

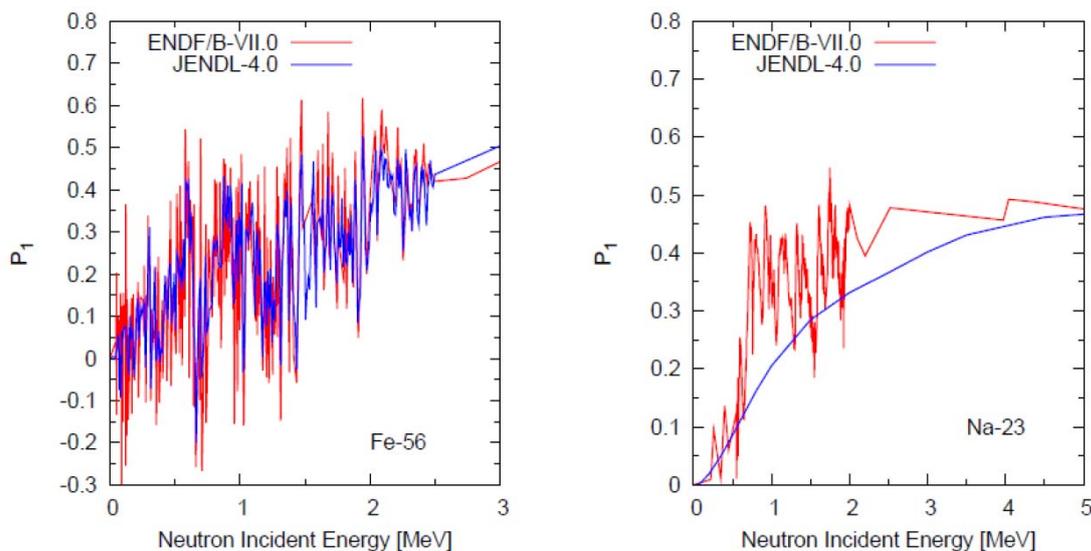


図 13 P1 成分のライブラリ間比較 (河野氏の発表。Fe-56 や Na-23 のような重要核種であっても、角度分布の評価結果はかなり違うようです)

6) SG36 : 分離共鳴領域の評価のための実験データ (同 : P. Scillebeeckx)

本 SG では、共鳴領域の正確な断面積と信頼あるコバリアンスの導出を目的に、共鳴データ解析における各種導出法が議論されました。

図 14 は、SG-36 のコーディネーターである P. Scillebeeckx が取り纏めた資料で、各種解析ツールに応じて、導出される誤差が示されています。

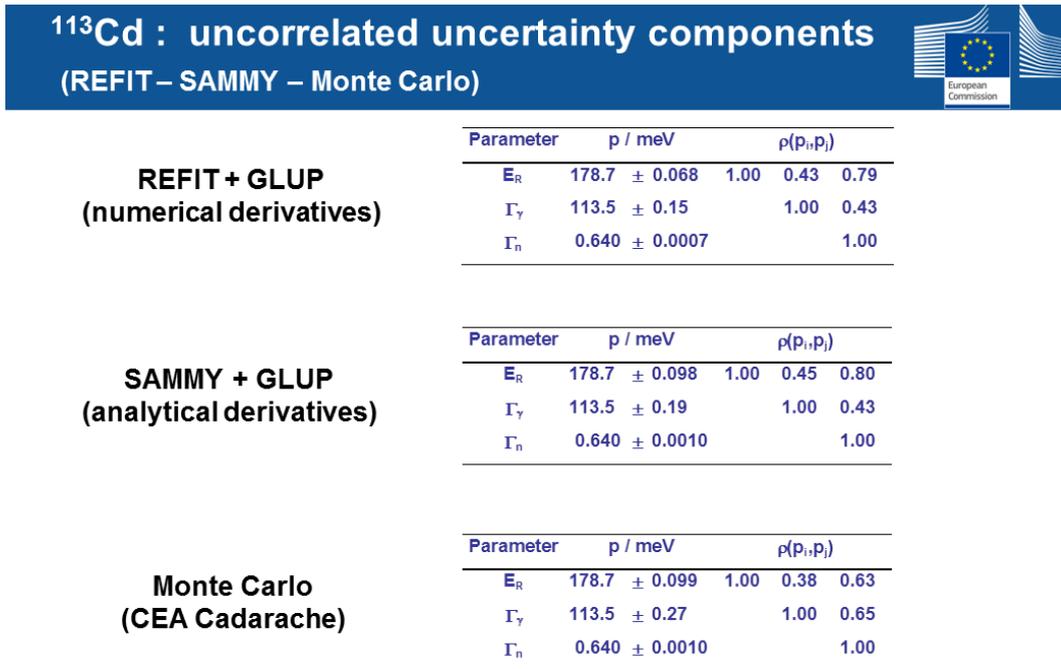


図 14 各種共鳴パラメータの解析ツールに応じて、導出される誤差が異なることが示されています。

また、TOF スペクトロメータの応答(中性子パルスの時間構造を差し、研究者によっては Resolution Function という用語も用いられます)を明確にすることの重要性が指摘され、図 15 のように注意すべき点が議論されました。本 SG では、共鳴解析を行う上で、これまでの技術情報が集約されることが期待でき、共鳴解析に係わる研究者にとって、大変意義ある報

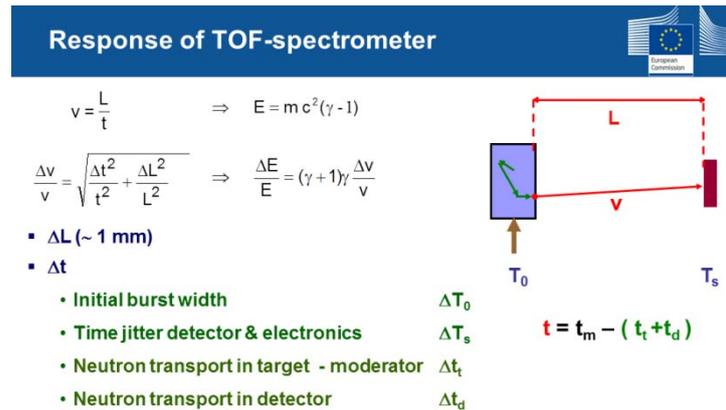


図 15 TOF スペクトロメータの応答情報を実験施設毎に整備することが重要であることが、この図を用いて議論されました。

告書が期待されます。

6. 新しいサブグループ等の提案と議論

1) 核分裂収率評価手法の改良（コーディネータ：R.W. Mills）

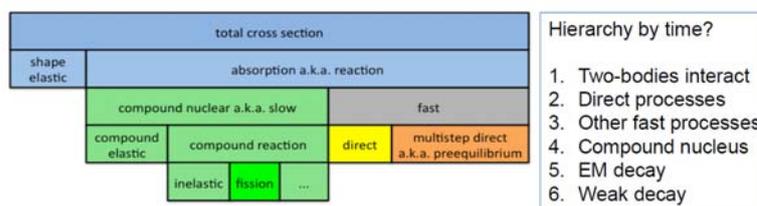
GEN-IV、Th サイクル、分離変換（P&T）、Pu サイクルとその廃棄物管理に対するニーズが高速中性子に対する核分裂収率（FPY）データに対して高まっていますが、実験データが少なく、従来の評価の枠組みでは大きな誤差を持っています。一方、近年 K-H. Schmidt らの理論的なアプローチにより、より一般的な記述が可能となってきました。従来 1 核分裂システム当たり 20 個程度のパラメータが必要でしたが、大体同程度のパラメータで 10 MeV 以下のすべてのシステムを記述できるそうです。また、CEA や LANL の実験の再解析や新しい測定の予定があるため、再評価に係わる機運が高まっています。

予定される作業としては、①従来の評価済み核データファイルで利用されていた評価手法を整理・比較する、②より良い理解を得るために、新しい実験解析手法を検討し、従来法の精度向上に役立つ実験手法の検証に努める、③共分散付きで FPY 格納フォーマットを提案する、です。本提案は SG37 として承認され、JENDL からは片倉純一氏（長岡技術科学大）と JAEA から 1 名参加の予定です。

2) 新 ENDF フォーマットの構築（コーディネータ：D. McNabb）

現在の ENDF フォーマットは、1960 年ごろに米国のローレンスリヴァモア研究所（LLNL）が開発した ENDL が基になっています。しかし、それから 50 年が経過して、現在の核データ研究レベルや計算機環境にそぐわなくなっているとの認識が広まっています。LLNL は、このような状況を打開するために、近年の計算技術（XML、Python、java など）を活用した新しい核データ構造システムを WPEC の新 SG として提案しました。

It seems clear that the data model should mirror our understanding of the physics of nuclear reactions



Other likely requirements:

- Small set of general-purpose data containers
- Support for functional descriptions of data
- Support for multiple forms of the same data
 - Functional, Pointwise, Grouped, etc.
 - Evaluator enters the native data, other forms are derived

図 16 核反応の共通データモデル（McNabb 氏の発表から）

この SG の活動としては、①核反応の新しい共通データモデル (Common data model、図 16 参照) を定義すること、②データモデルを記述し交換するためのメタ言語 (多分 XML) の採用を合意すること、③品質保証システムを開発すること、などを挙げています。2011 年 11 月に BNL の Herman 氏が説明した時には、従来の 80 カラムシステムに由来する制限をはずし、可読性・拡張性の観点から人間に優しいものにするというイメージが強かったのですが、今回の McNabb 氏の提案は、新しい核データ概念への発展のためのプラットフォーム作りというより広い概念のように見えました。このようなシステムにより、有効数字桁数や反応・核種数の制限がなくなり、重複データの存在や人間の操作による誤りが無くなるなどのメリットだけではなく、核反応・レベル構造・質量テーブルなど異なった物理データベース間の相互リンクも可能になるとのことです。ひょっとしたら、汎用ライブラリと特殊目的ライブラリ、fission と fusion の区別なども不要になるのかもしれない。

LLNL は、すでにプロトタイプとして、XML ベースの General Nuclear Data (GND) format とこれを処理する fudge というシステムを作成し、公開しています。例えば ENDF-6 と GND の双方向変換は既の実現しているということです。これにより NJOY など ENDF-6 を処理するコード資源は活かしつつ次世代のフォーマットの利点の理解を進めることが可能になるようです。この fudge はまた NJOY に代わる核データ処理機能を担うことも予定されているようです。興味のある方は、以下の URL から fudge システムをダウンロードできますので、ぜひご覧下さい (なお、この新 SG は実際に、新フォーマットシステムの開発をメンバーが共同作業で行うのですが、具体的方法として、メインサーバーに各自がネット経由でアクセスし、ソース管理はサブバージョンシステム (svn) で行う予定とのことで、システム開発自体にも、新しい方法論 (いわゆるアジャイル開発) を全面的に採用するようです)。

<https://ndclx4.bnl.gov/gf/project/gnd/>

7. 世界統一評価済みライブラリの開発への提案 (提案者 : M. Chadwick)

本提案に関しては、2011 年 11 月にウィーンで開催された IAEA の技術会合「核データ開発のための長期ニーズ」[14]でサラッとふれられていたものと同じ提案ですが、JENDL、ENDF、JEFF 等の評価済み核データ生産者が一堂に会する WPEC の様な会合では、「サラッと」では済まない重いテーマとなりました。提案内容を簡単に記すと以下の様になるかと思えます。

- ① 核データ自体は物理量なので唯一の正しい解が存在するはずで、世界中の最高の専門家が「寄ってたかって」レビューをすることによって質的な向上が望めるはずである。
- ② ただその専門家たちが年をとってきて、失われつつある。

- ③ 一方、IAEA や NEA/WPEC では共同してファイルを作った経験もある（標準ファイル、ドシメトリファイル、FENDL、光核反応ファイル、RIPL 等）。
- ④ ENDF/B-VII.1 では、JENDL をはじめとして、多くの核種に対して外部の評価を採用した。
- ⑤ 核データ研究の“Golden Age”は終了しており、まだ 20 年働ける若手がいるうちに検討を始めるべきである。
- ⑥ 優先順位の高い核種は各国共通であろうから、そういう核種から始められるのではないか。

いっていることは、真当であり理解できるものであることは間違いないと思います。ただこれには、ネガティブな面もあることを忘れてはいけません。まず、健全な競争関係があったからこそ 3 大ファイルはお互いに他と比較をすることによって、自らを磨くことができてきたということです。もし、どこかの一人勝ちであるならば、このようなことは達成できたでしょうか？ JEF (JEFF の前身) は米国の ENDF/B-V が公開されなかったから、欧州で危機感を持って、作成が始まったことを忘れてはいけません。さらに、日本の様な無謬性を求める官僚国家での予算獲得では、他からの（しかも国際機関がお墨付きを与えるような）ファイルがあった場合、国産のものを不要として、国内のアクティビティを維持させてくれません。これはとりもなおさず日本の専門家が消失することになります。例えば、シグマ委員会はボランティア的な活動で維持されていますが、根幹に JAEA 等で核データを作成するということが国から認められていて、そこに集合できるものだと思います。一旦消えた専門性を取り戻すことは非常に大きな労力を必要とするはずで、これでは、上記の専門家が「寄ってたかって」を実現できるのでしょうか。3.の3)のところで示した Table で記載していた「外部依存度」を持っていたところが、それで成り立つのでしょうか？ 外国に頼るような核種は、今後改訂されなくなるのではないのでしょうか？ ということを危惧して、深堀は「将来的にはありうるかもしれないが、今はまだその時期ではない」と強硬に反対しました。その結果、深堀を説得する形で以下の検討がなされることになりました。

「“WENDL”の WPEC イニシャティブに関する ENDF 提案」では、様々な議論については議事録で残すこととし、一般的な合意は「なかった」が、一部の WPEC メンバーから下記の共同レビューとファイル間の相違を解消する検討に関する提案（暫定的妥協点）がなされたことになりました。

- 1 年程度の短期間のレビューグループを遅滞なく WPEC 内に立ち上げ、カギとなる（各ファイル間でより一致が強く望まれる）重要核種のリスト、各ファイルに係わる現状認識の文章化（重要核種に関する実験データ資源、評価手法、信頼性確認）、各ファイルに係わる望まれる改訂のリスト化、人的資源の確認（国際的な専門家）を実施する。

- レビューグループの結論に基づき、重要核種（主要アクチノイド、マイナーアクチノイド、構造材等）について活動する特別な WPEC サブグループや IAEA/CRP を検討する。ここでは、最新の評価について詳細にレビューし一致／不一致の理由（実験データ、モデル、信頼性検証のための情報等）を特定（これによって過去の評価活動について学習も行う）、専門家の視点の文章化と知識ベース化（この高価値情報は参加プロジェクト（のみ？）に配布され、引き続いての共同評価作業への基本入力となる）、不一致解消への利用及び改訂評価結果へのアクション提案（条件が許せば改訂ファイルの提案）を実施する。
- SG または CRP の提案については次回の WPEC 会合で検討される。
- SG または CRP の提案は、現状では“WENDL”開発に対するものではないが、国際的専門家を助ける適切な条件を創設し、漸次、評価者たちが「最良」の共同評価済みファイル作成のための活動への統一見解に至るための施策に資する。

8. おわりに（個人的感想）

「世界統一ファイル」に関して結構熱いことを語ってしまいました。賛否はあるかと思しますので、皆さんでご議論いただければ良いかと思えます。ただ、核データの生産者は、核データ測定の方々を含めて、限りなく「絶滅危惧種」に漸近していることは事実だと思います。それではいつ対策を考えるのか？「今でしょう」。ご協力をお願いいたします。熱く語った分、ここでは控えめにしておくことにします。（深堀智生）

今回初めての WPEC 年会参加となり、これまでお名前だけしか知らなかった研究者やメールだけで連絡を取り合っていた研究者と知り合うことが出来たことは有意義でした。また、コーディネータを務めているサブグループ SG31 は、2011 年 3 月の震災の関係もあり、今回が初めての会合となりましたが、電子メールだけでは進まなかった事項が一気に加速しました。電話会議等も便利ですが、やはり直接の会議は必要と実感しました。（原田秀郎）

2012 年の WPEC 年会では、とくに米国が、新 ENDF フォーマットの構築や、世界統一ライブラリを提案するなど、新しい動きに積極的だったのが印象的でした。これは裏返せば、米国から核データ研究者がどんどんいなくなって、技術が継承・発展できなくなってきた（LANL の Chadwick 氏の言葉によれば、“The golden age of nuclear science is over.”）という危機感の現れなのかもしれません。日本の原子力研究も他人事ではありませんので、真剣に受け止める必要があると思いました。（石川眞）

以上



写真 2 WPEC 会合の様子（深堀が JENDL プロジェクトの報告を（中央奥）、原田が我が国の核データ実験研究の状況説明を（右上）、しているところです）

参考文献

- [1] 片倉純一：「核データ部会・炉物理部会合同企画セッション (1)OECD/NEA/核データ評価国際協働ワーキングパーティ (WPEC) の全体像と最近の活動」、核データニュース、No. 87、pp.2-7、日本原子力学会核データ部会・シグマ特別専門委員会（2007年6月）。
- [2] 片倉純一：「OECD/NEA/核データ評価国際協働ワーキングパーティ (WPEC) 会合」、同上、No. 91、pp.1-6（2008年10月）。
- [3] 片倉純一：「OECD/NEA 原子力科学委員会 第21回核データ評価国際ワーキングパーティ」、同上、No. 94、pp.18-22（2009年10月）。
- [4] 片倉純一：「第22回 OECD/NEA 原子力科学委員会核データ評価国際協働ワーキング

- パーティ (WPEC) (1)会合報告」、同上、No. 97、pp.22-27 (2010年10月)。
- [5] 石川眞、岩本修：「第23回 OECD/NEA 原子力科学委員会核データ評価国際協力ワーキングパーティ (WPEC) 会合報告」、同上、No. 99、pp.28-40 (2011年6月)。
- [6] H. Harada, K. Yokoyama, N. Iwamoto, S. Nakamura and H. Koura (Eds.) Proc. 2011 Symposium on Nuclear Data, JAEA-Conf, 2012-001 (2012).
- [7] M. B. Chadwick, M. Herman, P. Oblozinsky, et al., "ENDF/B-VII.1 nuclear data for science and technology: Cross sections, covariances, fission product yields and decay data", Nuclear Data Sheets, 112(12):2887-2996 (2011).
- [8] A. Kahler, R. MacFarlane, R. Mosteller, et al., "ENDF/B-VII.1 Neutron Cross Section Data Testing with Critical Assembly Benchmarks and Reactor Experiments", Nuclear Data Sheets, 112(12): 2997-3036 (2011).
- [9] D. Smith, "Evaluated Nuclear Data Covariances: The Journey From ENDF/B-VII.0 to ENDF/BVII.1", Nuclear Data Sheets, 112(12):3037-3053(2011).
- [10] P. Talou, P. Young, T. Kawano, et al., "Quantification of Uncertainties for Evaluated Neutron-Induced Reactions on Actinides in the Fast Region", Nuclear Data Sheets, 112(12): 3054-3074(2011).
- [11] S. Hoblit, Y.-S. Cho, M. Herman, et al., "Neutron Cross Section Covariances for Structural Materials and Fission Products", Nuclear Data Sheets, 112(12): 3075-3097(2011).
- [12] J. Lestone, "Energy Dependence of Plutonium Fission-Product Yields", Nuclear Data Sheets, 112(12):3120-3134 (2011).
- [13] M. MacInnes, M. Chadwick, T. Kawano, "Fission Product Yields for 14 MeV Neutrons on ^{235}U , ^{238}U and ^{239}Pu ", Nuclear Data Sheets, 112(12):3135-3152 (2011).
- [14] 石川眞、千葉敏、大塚直彦、IAEA 主催「核データ開発のための長期ニーズ」に関する技術会議、2011年11月2~4日、IAEA 本部、Vienna、Austria、核データニュース No.101、pp.12-19、日本原子力学会核データ部会・シグマ特別専門委員会 (2012年2月)。